

厦门港浮游植物对磷酸盐吸收速率的研究*

洪华生 戴民汉 黄邦钦 李文权†

(厦门大学环境科学研究中心, 厦门 361005)

(†厦门大学海洋系, 厦门 361005)

提要 用无载体 ^{32}P 同位素示踪测定海水中浮游植物和细菌吸收磷酸盐速率的方法, 对厦门港浮游植物和细菌进行了研究。结果表明, 厦门港海水中吸收磷酸盐的主体是浮游植物(几乎占 100%), 平均吸收速率为 $4.28 \times 10^{-3} \mu\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{s})$, 并且存在着晚秋 < 冬 < 初春的季节变化, 培养实验的结果表明吸收速率的季节变化主要是由于种类更替和温度效应所致。

关键词 浮游植物 细菌 磷酸盐 吸收速率

磷的生物地球化学循环过程对初级生产力无疑有着重要的调控作用。过去, 有关浮游植物对营养盐的利用只注意到一个表观的浓度问题, 日益增多的证据表明, 从动力学过程的角度才能真正有效地阐明磷的生物地球化学循环及其对生产力的控制机制 (Lean et al., 1983; Perry et al., 1981; Suttle et al., 1987)。

厦门港地处九龙江口, 与其他一些河口港湾相比, 厦门港具有低磷特征 (洪华生等, 1989)。对于该海区时而发生赤潮现象, 也有人推测是磷的作用 (张水浸等, 1988)。作者利用无载体放射性核素 ^{32}P 示踪法对厦门港的浮游植物和细菌吸收磷酸盐的动力学过程进行研究, 探讨该海域浮游植物和细菌对磷酸盐的吸收速率以及两者对这一过程的贡献。关于这方面的研究近来日益受到国际上的重视 (Berman, 1985; Currie et al., 1984), 但国内尚未见此类报道。

1 实验方法

1.1 放射性核素 ^{32}P 的脉冲示踪实验及吸收速率的计算

1.1.1 方法原理 吸收速率可通过吸收速率常数的动力学测定以及已知水体的磷酸盐浓度来计算 (Lean et al., 1983; Heath, 1986)

$$\mu = dM/dt = K(P)$$

式中, μ 为吸收速率; M 为细胞 t 时刻的吸收量; P 为介质磷酸盐浓度; K 为吸收速率常数。上式可变换为: $dX/dt = K(P_0 - X)$, P_0 为初始放射性强度; X 为细胞 t 时刻吸收的放射性强度。其积分式为:

$$\ln(P_0/(P_0 - X)) = K \cdot t$$

用 $\ln(P_0/(P_0 - X))$ 对 t 作图, 一般来说藻类对磷酸盐的吸收有两个过程: 第一步 (在几百秒内) 是快速吸收。第二步吸收速率减慢 (Heath, 1986), 我们取快速吸收的曲线,

* 本工作得到高等学校博士学科点专项科学基金和福建省自然科学基金资助。

收稿日期: 1992年2月14日, 接受日期: 1992年11月30日。

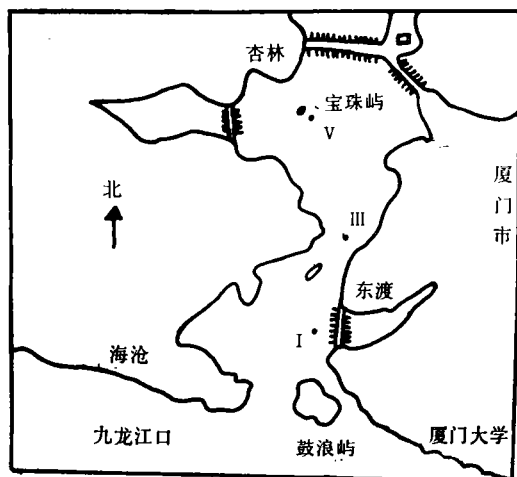


图1 采样站位图

Fig. 1 Sampling stations in Xiamen Harbour

求该曲线的切线,切线斜率即是吸收速率常数 K_0 。吸收速率 μ 即等于吸收速率常数与介质中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度的乘积。

1.1.2 现场实验 取 200ml 现场水样,经中网 200 目筛绢过滤(除去大型浮游动物),在实验室加 200 μl 、50 $\mu\text{Ci/ml}$ 的无载体 ^{32}P ,在 1h 的不同时刻内(如 80, 120, 160, 220, 300, 410, 650, 880, 1 500, 2 500, 3 600s)分别取水样 10ml 过滤,滤膜在干燥器内干燥两天,用乙酸乙酯充分振荡溶解,半天后加异丁醇稀释至 10ml,在 Packard Tri-carb 4640 液体闪烁计数仪上计数,测出放射性强度(dpm)。

1.2 生物培养实验 培养基均用改良的 Ryther 培养基(洪华生等,1989),取高潮时的海水经过滤、高压消毒,在室温下培养,光暗周期为 12:12h,光强为 4 000lx,实验所用的藻类均处于对数生长期。

1.3 现场采样及站位设置 分别于 1988 年 11 月、1989 年 1 月、1989 年 3 月在厦门西港取样 3 次。站位见图 1。I 站位于员当湖的排污口外,III 站则位于西港的较窄处,水流较急,V 站位于宝珠岛附近,沉积速率较高。每次涨潮时取表层海水,立即带回实验室进行测试。样品一部分经 0.45 μm 微孔滤膜过滤,用于测定海水中的 $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ (参照海洋调查规范方法);另一部分用于 ^{32}P 示踪实验。为探讨细菌在吸收 $\text{PO}_4\text{-P}$ 中的作用,作者在 1989 年 3 月运用不同孔径(1.2 和 0.22 μm 两种)的滤膜进行了分级分离实验(假定细菌能通过 1.2 μm 的滤膜)(Berman, 1985; Suttle et al., 1987)。

2 结果和讨论

2.1 现场实验结果

2.1.1 厦门港浮游植物对磷酸盐吸收速率的季节变化 总的说来,不同季节不同站位的吸收速率(μ)和吸收速率常数(K)不尽相同,这与浮游植物种类组成、数量及环境因子是相关的。

从表 1 可看出,在晚秋(11 月)和冬季(1 月)(温度分别为 20 $^{\circ}\text{C}$, 16 $^{\circ}\text{C}$),浮游植物对

表 1 厦门港浮游植物对磷酸盐的吸收速率常数(K)及吸收速率(μ)Tab. 1 Uptake rate constant (K) and uptake rate (μ) of phosphate by phytoplankton in Xiamen Harbour

季节(月)	站 位	$K(\times 10^{-3}/s)$	$\mu[\times 10^{-3}\mu\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{s})]$	$\text{PO}_4\text{-P}(\mu\text{mol/L})$
初春(3月)	I	8.53	8.53	1.00
	III	7.23	8.46	1.17
	V	20.05	9.42	0.47
晚秋(11月)	I	2.90	2.09	0.72
	III	1.18	1.05	0.89
	V	1.75	1.43	0.82
冬季(1月)	I	3.50	3.92	1.12
	III	0.79	0.86	1.09
	V	2.73	2.73	1.00

表 2 浮游植物对磷酸盐吸收速率及周转时间比较

Tab. 2 Comparison in uptake rate and turnover time of phosphate by phytoplankton

地 点	吸收速率 [$10^{-3}\mu\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$]	$\text{PO}_4\text{-P}(\mu\text{mol/L})$	周转时间(d)	资料来源	备注
厦门港	4.28	0.92	0.51	本文	N限制
北太平洋	0.0012	0.025	26	Perry et al. (1981)	
北海	1.063	/	/	Velhuis et al. (1987)	
Old Woman Creek	4.133	0.387	0.06	Heath (1986)	
California Current	/	/	198	Perry et al. (1981)	
Triangle Bog Lake	235.9	0.276	0.0012	Heath (1986)	酸化湖泊

磷酸盐的 K 值与 μ 值均较小,而初春(3月)则较大。这可能是由于春季温度回升(24°C),浮游植物繁殖速率加快的缘故,此外我们还观察到春季与秋冬季的浮游植物优势种的差异。前者为日本星杆藻(*Asterionella japonica*),而后者分别为中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)和具槽直链藻(*Melosira sulcata*)。

值得一提的是,春季站位 V, K 值特别高,而 $\text{PO}_4\text{-P}$ 较低($0.47\mu\text{mol/L}$),从而使吸收速率保持一定水平,我们认为这是对低磷海区的一种适应性反应,当然,是否仅仅是由于 $\text{PO}_4\text{-P}$ 低而导致 K 升高,还需进一步研究。

2.1.2 吸收速率与周转时间比较 表 2 表明厦门港浮游植物对磷酸盐的吸收速率大大高于北太平洋中部,高于北海,与美国 Ohio 的 Old Woman Creek 相近,但又大大低于 Ohio 的 Triangle Bog 湖。我们认为自然海区(湖泊)中浮游植物吸收磷酸盐速率受诸多因素的影响,如浮游植物种类组成、营养盐状况(N或P限制)等等,北太平洋中部海域属于 N-限制且营养盐贫乏、生物量小,因而吸收速率低;厦门港位于九龙江口,浮游植物相当丰富,营养盐水平亦高于北太平洋中部,故而吸收速率较大。从磷酸盐的周转时间(表 2)亦可见厦门港浮游植物对磷酸盐的吸收速率较高,周转时间较快。

2.1.3 浮游植物、细菌对磷酸盐的吸收速率比较 浮游植物、细菌的分级吸收 ^{32}P 实验表明(表 3),在厦门港吸收磷酸盐的主体是浮游植物,细菌对此贡献微乎其微。Currie

et al. (1984) 研究加拿大 Memphremagog 湖的磷循环, 发现细菌对无机磷的吸收占 97%—100%, 而浮游植物则主要吸收细菌分泌的 DOP, Berman (1985) 在 Kinneret 湖的研究发现, 细菌对磷酸盐的吸收比浮游植物快得多, 我们推测这可能是因为厦门港海域细菌种类不同于上述两个湖泊的缘故。

表 3 厦门港浮游植物、细菌吸收 ³²P 的放射性强度(dpm)比较 (1989.3)
Tab. 3 Comparison of ³²P uptake between phytoplankton and bacteria in Xiaman Harbour (March, 1989)

取样时间顺序	III		V	
	Phytoplankton (dpm)	Bacteria (dpm)	Phytoplankton (dpm)	Bacteria (dpm)
1	1019	—	889	—
2	861	—	853	122
3	899	—	955	—
4	1033	—	1172	—
5	1143	63	1236	151
6	1076	—	1414	—
7	1315	6	1285	—
8	1244	239	1874	—
9	1249	360	1687	—
10	1684	510	1944	—

表 4 3 种藻类吸收磷酸盐的动力学参数($T = 15 \pm 1^{\circ}\text{C}$)
Tab. 4 Dynamic parameter of phosphate uptake in three species of phytoplankton

种 类	钙质角毛藻 (<i>C. calcitraus</i>)	三角褐指藻 (<i>P. tricornutum</i>)	亚心形扁藻 (<i>P. subcoriformis</i>)
$\mu[10^{-13}\mu\text{mol}/(\text{cell} \cdot \text{s})]$	7.28	4.04	1.84
$\mu_{\text{max}}[10^{-13}\mu\text{mol}/(\text{cell} \cdot \text{s})]$	210.17	97.22	9.75
$K_s(\mu\text{mol/L})$	10.84	4.59	2.70

注: μ : $[\text{PO}_4\text{-P}] = 0.20\mu\text{mol/L}$ 时的吸收速率; μ_{max} : 最大吸收速率、由米氏方程(双倒数)求得; K_s : 半饱和浓度、同上求得。

表 5 温度对亚心形扁藻吸收磷酸盐速率的影响
Tab. 5 Effect of temperature on uptake rate of phosphate by *P. subcoriformis*

温度($\pm 1^{\circ}\text{C}$)	15	20	25	30
$\mu[10^{-13}\mu\text{mol}/(\text{cell} \cdot \text{s})]$	1.5	3.8	1.4	5.2

2.2 培养实验

2.2.1 浮游植物吸收磷酸盐速率的种间差异 在实验室选择 3 种藻类进行 ³²P 吸收实验, 旨在进一步说明自然海区中浮游植物种类组成(尤其是优势种)的季节更替对吸收磷酸盐速率的影响, 结果(表 4) 说明藻类对磷酸盐的吸收动力学参数因种类而异, 这说明现

场浮游植物种类的季节更替会导致吸收磷酸盐速率的变化。反过来,环境的改变(如 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度、N/P比值等)亦会反馈到浮游植物的种类组成。Suttle et al. (1987)应用半连续培养研究不同N/P比值对天然湖泊中浮游植物种类组成的影响。结果发现,经30d培养后,在高的N/P比值中(45:1)优势种是聚球藻属的一种(*Synechococcus* sp.),而在低的N/P比值中(5:1)则是硅藻类如菱形藻(*Nitzschia*)和针杆藻(*Synedra*)。我们认为这是生物与环境相互作用的一种体现形式。

2.2.2 温度对浮游植物吸收磷酸盐速率的影响 由表5可见随温度升高,亚心形扁藻吸收磷酸盐的速率呈增大趋势,从15℃的 $1.5 \times 10^{-13} \mu\text{mol}/(\text{cell} \cdot \text{s})$ 增大到30℃的 $5.2 \times 10^{-13} \mu\text{mol}/(\text{cell} \cdot \text{s})$ 。这也证实了春季现场浮游植物吸收磷酸盐的速率高于晚秋、冬季是由于温度效应所致。

综上所述,现场浮游植物吸收磷酸盐速率的季节变化主要是由于种类和温度效应所致。

3 结论

厦门港浮游植物对磷酸盐的平均吸收速率为 $4.28 \times 10^{-5} \mu\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{s})$,存在着晚秋<冬<初春的季节变化;培养实验表明浮游植物对磷酸盐吸收速率的季节变化主要是由于种类和温度效应所致。

厦门港浮游植物对磷酸盐具有较高的吸收速率和较快的周转时间,这使得低磷海域的生产力可保持一定水平。

厦门港吸收无机磷的主体是浮游植物而不是细菌,细菌可能在溶解有机磷利用中起作用,尚在进一步探讨。

参 考 文 献

- 洪华生等,1989,春季厦门港、九龙江口各种形态磷的分布与转化,海洋环境科学,8(2): 1—8。
张水浸等,1988,厦门西港区的一次赤潮观测,海洋学报,10(5): 602—608。
Berman, T., 1985, Uptake of ^{32}P orthophosphate by algae and bacteria in Lake Kinneret, *J. Plankton Res.*, 7: 71—84。
Currie, D. J. & Kalff, J., 1984, The relative importance of bacterioplankton and phytoplankton in phosphorus uptake in freshwater, *Limnol. Oceanogr.*, 29(2): 311—321。
Heath, R. T., 1986, Dissolved organic phosphorus compounds: do they satisfy planktonic phosphate demand in summer, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43: 343—350。
Lean, D. R. S. & While, E., 1983, Chemical and radiotracer measurement of phosphorus uptake by lake plankton, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40: 147—155。
Perry, M. J. & Eppley, R. W., 1981, Phosphate uptake by phytoplankton in the central North Pacific Ocean, *Deep-Sea Res.*, 28A: 39—49。
Suttle, C. A. & Harrison, P. J., 1987, Ammonium and phosphate uptake rate, N: P supply ratios, and evidence for N and P limitation in some oligotrophic lakes, *Limnol. Oceanogr.*, 33(2): 186—202。
Veldhuis, M. J. et al., 1987, Availability of phosphorus sources for bloom of *Phaeocystis pouchetii* (Haptophyceae) in the North Sea: impact of the river Rine, *Netherland J. Sea Res.*, 21(3): 219—229。

STUDIES ON RATE OF PHOSPHATE UPTAKE BY PHYTOPLANKTON IN XIAMEN HARBOUR

Hong Huasheng, Dai Minhan, Huang Bangqin, Li Wenquan[†]

(*Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005*)

([‡] *Department of Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005*)

ABSTRACT

A method for determining the rate of phosphate uptake by phytoplankton and bacteria in seawater using carrier-free ^{32}P radiotracer was established. The experiments were carried out from Nov. 1988 to Mar. 1989 in Xiamen Harbour, Fujian, China. The average rate of phosphate uptake by phytoplankton was $4.28 \times 10^{-5} \mu\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{s})$; the turnover time was 0.51 day. In comparison to other regions, there were higher uptake rate and shorter turnover time of phosphate by phytoplankton in Xiamen Harbour.

Results showed seasonal variations in the rate of phosphate uptake (late fall < winter < early spring). Laboratory culture experiments indicated that the change was resulted from succession of phytoplankton species and temperature. The uptake of inorganic phosphate was predominantly by phytoplankton, but not by bacteria in Xiamen Harbour.

Key words Phytoplankton Bacteria Phosphate Uptake rate